



航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

· 金属结构件胶接 ·

航空工业出版社



航空制造工程手册

金属结构件胶接

《航空制造工程手册》总编委会 主编

航空工业出版社

1995

内 容 提 要

《金属结构件胶接》是大型工具丛书《航空制造工程手册》系列的组成部分,独立成册。它全面而系统地汇集了我国飞机制造金属胶接专业近40年来丰富的生产经验和科研成果,概括介绍了国外先进胶接技术的现状和发展趋势,对军、民用飞机及其他机械制品的胶接生产均具有指导作用。

本书按照求实、求新、求精、求是的编撰原则,紧密结合产品及生产,并兼顾胶接技术专业基础,具有内容翔实、概念准确、文字简练、图表相济、数据可靠、查阅方便等特点。

全书共分30章。第1~3章介绍金属胶接的技术基础知识,包括胶接概论、胶接体系及胶接接头设计。第4~13章着重介绍胶接用的各种材料及其选用,并论述了工装、设备、厂房等有关胶接生产设施及技术安全。第14~18章分别阐述胶接工艺流程及基本胶接技术,包括预装配、表面处理、胶粘剂涂敷、胶接组装、固化及修补等。第19~24章全面叙述各种胶接结构的制造特点,包括蜂窝芯材、蜂窝结构、钣金结构、胶焊结构、胶铆和胶螺结构以及特种胶接结构等,并以实例说明。第25~29章讲述胶粘剂及胶接件的性能测试、胶接质量无损检测和胶接生产的全面质量控制。第30章为胶接技术术语。

本书可供航空、航天、兵器、舰船、汽车等机械制造业从事胶接专业的工程技术人员、民航和部队的飞机维修人员使用或借鉴,亦可供中高等院校相关专业的师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

航空制造工程手册:金属结构件胶接/航空制造工程手册总编委会编. —北京:航空工业出版社,1995
ISBN 7-80046-908-5

Ⅰ. 航… Ⅱ. 航… Ⅲ. ①航空工程-手册②航空器-金属结构-结构构件-胶接 N. ①V26-62②V261.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 05019 号

责任编辑 朱丹

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

北京地质印刷厂印刷 全国各地新华书店经销

1995年9月第1版 1995年9月第1次印刷

开本:787×1092/16 印张:27.5 字数:686千字

印数:1—1500

定价:60.00元

序

我国航空工业已走过了四十余年的历程,从飞机的修理、仿制到自行研制,航空制造工程得到很大的发展。在航空高科技产业的大系统中,航空制造工程是重要的组成部分之一。航空工业,就其行业性来讲,属于制造业范畴。航空制造工程的技术状况,是衡量一个国家科学技术发展综合水平的重要标志。航空制造工程的发展水平,对飞机的可靠性和使用寿命的提高、综合技术性能的改善、研制和生产成本的降低、甚至总体设计思想能否得到具体实现等均起着决定性作用。

航空制造工程已成为市场竞争的重要基础,要发展航空工业、并有效地占领市场,不仅要不断地更新设计,开发新产品,更重要的是要具备一个现代化的航空制造工程系统。在发达国家中,均优先发展航空制造工程,很多新工艺、新材料、新设备、新技术都是在航空制造工程中领先使用的,因此必须从战略高度予以重视,并采取实际而有效的措施加速它的发展。编写《航空制造工程手册》,就是为实现航空制造工程现代化的战略目标,在制造工程领域进行的基础性工作。

四十年来,我国航空工业积累了大量经验,取得了丰硕的成果,特别是改革开放以来,开扩了视野并有可能汲取更多的新科技信息。但是如何将这些容量浩繁、层次复杂、学科众多的科学技术和经验汇集起来,使之成为我国航空工业、乃至国家的珍贵财富,是一项具有重大实用价值和长远意义的任务,为此航空航天部决定组织全行业的力量,统一计划、统一部署完成这项极其复杂的规模巨大的系统工程。大家本着继往开来的历史责任感和紧迫感,从1989年开始组织航空工业全行业制造工程方面造诣至深的专家、教授、学者,经过几年的努力陆续编写出版了这套基本覆盖航空制造工程各专业各学科的包括三十二个分册、几千万字的《航空制造

目 录

第 1 章 胶接概论	1	3.2.1.2 其他设计考虑	20
1.1 概述	1	3.3 胶接接头形式	21
1.1.1 金属胶接技术优缺点	1	3.3.1 接头类型	21
1.1.2 飞机金属胶接结构件分类	2	3.3.2 典型胶接接头形式	21
1.1.3 飞机金属胶接结构应用概况	3	3.3.3 飞机典型结构胶接接头	26
1.2 飞机金属胶接工艺特点及使命	4	3.3.3.1 飞机钣金胶接结构胶接接头	26
1.2.1 金属胶接工艺过程	4	3.3.3.2 飞机蜂窝胶接结构胶接接头	31
1.2.2 飞机金属胶接工艺特点	4	第 4 章 胶接材料的选择	34
1.2.3 飞机金属胶接工艺的使命	5	4.1 选材原则及要求	34
1.3 飞机金属胶接技术发展趋势	5	4.1.1 选材原则	34
1.3.1 现代飞机金属胶接技术水平标志	5	4.1.2 选材要求	34
1.3.2 飞机金属胶接结构技术发展方向	5	4.1.3 选材程序	34
第 2 章 胶接体系	7	4.2 金属材料的选择	35
2.1 胶接接头的形成	7	4.2.1 选材附加要求	35
2.1.1 胶接界面	7	4.2.2 推荐的胶接用金属材料	35
2.1.1.1 胶接界面层的构成及特性	7	4.2.2.1 国外推荐的金属材料	35
2.1.1.2 胶接界面效应及粘附力	7	4.2.2.2 国内推荐的金属材料	35
2.1.2 胶粘剂的湿润	8	4.3 蜂窝芯材的选择	36
2.1.2.1 胶粘剂对被粘表面的湿润	8	4.3.1 选材附加要求	36
2.1.2.2 影响胶接湿润的主要因素	9	4.3.2 芯材标准及选材	36
2.1.3 胶粘剂的固化	10	4.4 胶粘剂的选择	37
2.1.3.1 固化方法	10	4.4.1 选材附加要求	37
2.1.3.2 影响胶粘剂固化的主要因素	11	4.4.2 国外推荐的金属胶接胶粘剂体系	37
2.2 胶接接头的破坏	12	4.4.3 国内推荐的金属胶接胶粘剂体系	38
2.2.1 破坏机理	12	4.5 密封防护材料的选择	39
2.2.1.1 破坏位置	12	4.5.1 选材附加要求	39
2.2.1.2 破坏特征	13	4.5.2 推荐选用的密封剂	39
2.2.2 引起破坏的因素	13	第 5 章 结构胶粘剂	41
2.3 先进胶接体系	15	5.1 结构胶粘剂的分类及特性	41
2.3.1 先进胶接体系要素	15	5.1.1 结构胶粘剂的主要性能要求	42
2.3.2 先进胶接体系实现途径	15	5.1.1.1 美国军用规范对金属蜂窝结构 胶粘剂要求	42
第 3 章 胶接接头设计	17	5.1.1.2 美国联邦规范对金属钣金结构 胶粘剂要求	42
3.1 胶接接头基本受力形式	17	5.1.1.3 中国航标对金属钣金结构胶粘剂 要求	42
3.2 胶接接头设计	18		
3.2.1 胶接接头设计原则	18		
3.2.1.1 按胶接特性设计接头	18		

5.1.1.4 中国航标对金属蜂窝结构胶粘剂要求	42	第7章 铝蜂窝芯材	91
5.1.1.5 结构胶粘剂的重要性能	47	7.1 分类及要求	91
5.1.2 结构胶粘剂的供应状态及使用特点	47	7.1.1 概述	91
5.1.2.1 胶膜	47	7.1.1.1 芯材格形	91
5.1.2.2 发泡胶	48	7.1.1.2 通气孔及耐久性	92
5.1.2.3 糊状胶	48	7.1.1.3 芯材方向及标注	93
5.1.2.4 底胶	48	7.1.2 分类	93
5.1.3 结构胶粘剂的化学类型及特性	48	7.1.3 要求	94
5.1.3.1 改性酚醛胶粘剂	48	7.1.3.1 物理性能	94
5.1.3.2 改性环氧胶粘剂	49	7.1.3.2 力学性能	95
5.1.3.3 双马来酰亚胺胶粘剂	50	7.1.3.3 耐腐蚀性能	103
5.1.3.4 聚酰亚胺胶粘剂	50	7.1.3.4 外观	103
5.2 可供选用的结构胶粘剂及其主要特性	51	7.1.3.5 颜色代号识别	104
5.2.1 国内常用结构胶粘剂	51	7.1.3.6 验收或鉴定试验项目	104
5.2.1.1 基本组成、材料标准及工艺特性	51	7.2 可供选用的铝蜂窝芯材	105
5.2.1.2 主要力学性能及应用情况	51	7.2.1 国外可供选用的芯材及其性能	105
5.2.2 国外常用结构胶粘剂	70	7.2.2 国内可供选用的芯材及其性能	109
5.2.2.1 基本组成、供应状态及工艺特性	70	7.2.2.1 SYL-3 芯材的性能	110
5.2.2.2 主要力学性能	70	7.2.2.2 BSC 芯材的性能	113
第6章 金属被粘物	82	7.2.2.3 其他芯材性能	116
6.1 金属被粘物要求	82	第8章 密封防护材料	118
6.1.1 表面清洁度	82	8.1 密封防护作用	118
6.1.2 表面粗糙度	83	8.2 密封防护材料分类及一般要求	119
6.1.3 线膨胀系数及电化学电位	83	8.2.1 密封防护材料分类	119
6.1.3.1 线膨胀系数	83	8.2.2 密封防护材料的一般要求	121
6.1.3.2 电化学电位	84	8.3 可供选择的密封防护材料	121
6.1.4 胶粘剂匹配	85	第9章 辅助材料	123
6.2 可供选用的常用金属被粘物及其主要性能	85	9.1 种类及用途	123
6.2.1 可供选用的常用金属被粘物	85	9.2 脱模材料	124
6.2.1.1 国外常用铝合金	85	9.2.1 分类和选材	124
6.2.1.2 国内常用铝合金	86	9.2.1.1 脱模材料分类	124
6.2.1.3 其他合金	86	9.2.1.2 脱模材料选材	124
6.2.2 常用金属被粘物的主要力学性能	87	9.2.2 溶液类脱模材料	125
6.2.2.1 材料技术规范	87	9.2.2.1 配制方法	125
6.2.2.2 主要力学性能	88	9.2.2.2 技术指标	125
6.3 常用金属被粘物的固化温度及时间限制	90	9.2.3 薄膜类脱模材料	125
		9.2.3.1 聚四氟乙烯玻璃布	125
		9.2.3.2 E3760 和 A5000 薄膜	126
		9.2.3.3 单面涂压敏胶的脱模薄膜	127
		9.3 真空袋薄膜	127
		9.4 有孔隔离膜	128
		9.5 边挡材料	130
		9.6 压力传递材料	130
		9.7 透气材料	131

9.7.1 作用和选材	131	10.6.2 CAD/CAM 法	151
9.7.2 技术数据	131	10.6.2.1 编制原则	151
9.8 压敏胶带	132	10.6.2.2 协调路线及若干有关问题	152
9.9 密封腻子	133	10.6.3 协调误差	152
9.10 印痕薄膜层片	134	10.6.3.1 CAD/CAM 法自身的误差	152
第 10 章 胶接工艺装备	135	10.6.3.2 CAD/CAM 法的协调误差	153
10.1 特点、类别与要求	135	10.6.4 容差分配	153
10.1.1 特点	135	10.7 工装鉴定及使用维护	153
10.1.2 类别及用途	135	10.7.1 胶接工装的鉴定	153
10.1.3 技术要求	135	10.7.2 胶接工装的使用维护	154
10.2 固化模胎	136	第 11 章 胶接设备	155
10.2.1 基本组成部分及功能	136	11.1 铝蜂窝芯材制造专用设备	155
10.2.2 分类	137	11.1.1 铝箔处理机	155
10.2.3 技术要求	137	11.1.1.1 铝箔碱洗处理机	155
10.2.4 平板固化模胎 (平板胎)	138	11.1.1.2 铝箔耐蚀处理机	157
10.2.4.1 模体	138	11.1.1.3 铝箔耐久处理机	157
10.2.4.2 芯模	138	11.1.1.4 成形法制造芯材的铝箔处理机	158
10.2.5 整体铸铝固化模胎 (铸铝胎)	138	11.1.1.5 铝箔处理机使用注意事项	159
10.2.5.1 模体	138	11.1.2 成形法制造蜂窝芯材的设备	159
10.2.5.2 芯模	139	11.1.2.1 波形条成形机	159
10.2.5.3 压紧机构	141	11.1.2.2 波形条成形机使用注意事项	160
10.2.5.4 检验卡板	142	11.1.3 拉伸法制造蜂窝芯材的设备	160
10.2.6 构架式固化模胎 (构架胎)	143	11.1.3.1 铝箔涂胶机	161
10.2.6.1 特点	144	11.1.3.2 蜂窝拉伸机	167
10.2.6.2 结构	144	11.2 胶粘剂涂敷设备	169
10.3 铣切模胎	145	11.2.1 底胶涂敷设备	169
10.3.1 分类	145	11.2.1.1 空气喷涂装置	169
10.3.2 技术要求	146	11.2.1.2 静电喷涂装置	170
10.3.3 预变形法加工蜂窝零件的铣切模胎	146	11.2.2 胶膜贴敷设备	171
10.3.3.1 用途	146	11.3 胶接固化设备	171
10.3.3.2 结构	146	11.3.1 热压机	172
10.3.3.3 型面加工依据	147	11.3.1.1 箔层固化用热压机	172
10.3.4 仿形或数控加工用的铣切模胎	148	11.3.1.2 构件固化用热压机	172
10.4 装配及检验型架	148	11.3.1.3 使用注意事项	172
10.4.1 装配型架	148	11.3.2 加热炉 (箱)	172
10.4.2 检验型架	149	11.3.3 热压罐	172
10.5 胶接工艺装备的选用原则	149	11.3.3.1 工作原理	172
10.5.1 固化模胎的选用原则	149	11.3.3.2 分类	173
10.5.2 铣切模胎的选用原则	149	11.3.3.3 技术要求	173
10.5.3 装配型架的选用原则	149	11.3.3.4 结构组成及用途	174
10.5.4 检验型架的选用原则	150	11.3.3.5 热压罐微机控制	174
10.6 协调依据及容差分配	150	11.4 蜂窝芯材机械加工设备	175
10.6.1 模线样板-标准样件法	150	11.4.1 锯床	175

11.4.2 蜂窝铣床	176	13.1.4 中毒急救	190
11.4.2.1 特点	176	13.2 防火防爆安全技术	191
11.4.2.2 平面铣床	176	13.2.1 主要易燃易爆物	191
11.4.2.3 靠模铣床	176	13.2.2 主要易燃易爆物的贮存及灭火方法	191
11.4.2.4 数控蜂窝铣床	177	13.2.2.1 贮存及灭火方法	191
第12章 胶接厂房技术要求	178	13.2.2.2 隔离存放	192
12.1 胶接厂房特点	178	13.2.3 安全技术措施	192
12.1.1 重要性	178	13.3 压力容器安全技术	193
12.1.2 胶接工序对厂房的特殊要求	178	13.3.1 安全检查内容和方法	193
12.2 国外对胶接厂房的要求	179	13.3.2 安全附件	193
12.2.1 净化间要求	179	13.3.3 热压罐运行安全要求	194
12.2.2 厂房清洁度要求	179	13.4 废弃物处理	194
12.3 胶接厂房分类及要求	179	第14章 胶接零件预装配	196
12.3.1 分类	179	14.1 目的及程序	196
12.3.2 一类厂房(净化间)技术要求	182	14.1.1 预装配目的	196
12.3.2.1 环境要求	182	14.1.2 预装配程序及注意事项	196
12.3.2.2 设施要求	183	14.2 胶接零件技术要求	197
12.3.2.3 土建及暖通要求	183	14.2.1 夹芯零件	197
12.3.2.4 消防、防爆及“三废”排放要求	184	14.2.2 其他零件	197
12.3.2.5 其他要求	184	14.2.2.1 钣金成形零件	197
12.3.3 二类厂房技术要求	184	14.2.2.2 板弯型材零件	197
12.4 胶接车间工艺要求	185	14.2.2.3 挤压型材零件	198
12.4.1 工艺布置	185	14.2.2.4 平板零件	198
12.4.1.1 胶接车间工艺布置的特点	185	14.2.3 其他要求	199
12.4.1.2 工艺布置内容	185	14.3 胶接零件预装配配合要求	199
12.4.2 胶接工作间的工艺要求	185	14.3.1 配合技术要求	199
12.4.2.1 铝箔处理间	185	14.3.2 零件补充加工	201
12.4.2.2 铝箔涂胶间	186	14.4 校验膜法预装配	201
12.4.2.3 胶粘剂贮存间	186	14.4.1 校验膜分类和要求	201
12.4.2.4 配胶间	186	14.4.1.1 分类	201
12.4.2.5 表面处理间	186	14.4.1.2 要求	201
12.4.2.6 底胶喷涂间	186	14.4.2 预装配应用	201
12.4.2.7 胶膜粘贴间	186	14.4.2.1 校验固化成形模具(或夹具)	201
12.4.2.8 胶接装配间	187	14.4.2.2 大型复杂胶接构件预装配	201
12.4.2.9 胶接件固化间	187	第15章 胶接零件表面处理	203
第13章 胶接技术安全和劳动保护	188	15.1 要求及分类	203
13.1 胶接作业防毒安全技术	188	15.1.1 要求	203
13.1.1 主要毒物分级和危害	188	15.1.2 分类	203
13.1.1.1 职业性接触毒物危害程度分级依据	188	15.1.3 注意事项	204
13.1.1.2 职业性接触毒物的危害	188	15.2 常用金属被粘物表面处理方法	204
13.1.2 安全技术措施	189	15.2.1 铝合金	204
13.1.3 个人防护	190	15.2.1.1 化学氧化处理法(FPL法)	204

15.2.1.2 铬酸阳极化法 (CAA 法)	205	17.2 胶接构件的固化方法及参数	226
15.2.1.3 磷酸阳极化法 (PAA 法)	205	17.2.1 固化要素	226
15.2.1.4 其他表面处理法	207	17.2.1.1 固化压力	226
15.2.2 钛合金	207	17.2.1.2 固化温度	227
15.2.2.1 分类	207	17.2.1.3 固化工艺参数选择	227
15.2.2.2 铬酸-氟化物阳极化法	207	17.2.2 热压机固化法	228
15.2.2.3 NaTESi 阳极化法	208	17.2.2.1 工艺流程	228
15.2.3 其他材料	208	17.2.2.2 工艺特点	228
15.2.3.1 镁合金	208	17.2.3 加热炉 (烘房) 固化法	229
15.2.3.2 不锈钢	209	17.2.3.1 低压胶接构件的特性	230
15.2.3.3 钢及铁合金	210	17.2.3.2 工艺流程及控制参数	230
15.2.3.4 锌合金及镀锌金属	210	17.2.3.3 工艺要求	230
15.2.3.5 铜、黄铜及青铜	210	17.2.4 热压罐固化法	231
15.2.3.6 镍及其合金	211	17.2.4.1 热压罐固化法适用范围	231
15.2.3.7 钨及其合金	211	17.2.4.2 工艺流程及注意事项	231
15.2.3.8 铝蜂窝芯材	211	17.2.5 常用胶粘剂固化参数	232
第 16 章 胶粘剂涂敷	212	17.2.5.1 板-板胶粘剂	232
16.1 胶粘剂准备	212	17.2.5.2 板-芯胶粘剂	233
16.1.1 胶粘剂调配、贮存及启封	212	17.2.5.3 发泡胶粘剂	233
16.1.1.1 胶粘剂调配	212	17.2.5.4 点焊胶粘剂	233
16.1.1.2 胶粘剂贮存及启封	212	17.2.5.5 国外胶粘剂	234
16.1.2 胶液粘度测定	213	17.3 胶接构件清理及密封防护	234
16.2 胶粘剂应用形式及涂敷方法	213	17.3.1 胶接构件的清理	234
16.2.1 胶粘剂应用形式和底胶种类及作用	213	17.3.1.1 卸模取件	234
16.2.1.1 胶粘剂应用形式	213	17.3.1.2 表面清理	234
16.2.1.2 底胶的作用	214	17.3.1.3 切除余量	235
16.2.2 胶粘剂涂敷方法	214	17.3.2 密封防护	235
16.2.2.1 胶液涂敷方法	214	17.3.2.1 密封形式与要求	235
16.2.2.2 胶膜贴敷方法	216	17.3.2.2 密封工艺	236
16.3 底胶喷涂技术	216	第 18 章 胶接修补	238
16.3.1 喷涂特点	216	18.1 修补内容及要求	238
16.3.2 喷涂方法	217	18.1.1 修补内容及意义	238
16.3.3 喷涂参数	218	18.1.2 修补要求	238
16.4 常用胶粘剂涂敷工艺参数	220	18.2 胶接缺陷及损伤分类和修补方案	239
16.4.1 国内常用胶粘剂涂敷工艺参数	220	18.2.1 胶接缺陷及损伤分类	239
16.4.2 国外常用胶粘剂涂敷工艺参数	221	18.2.2 修补方案	240
第 17 章 胶接组装、固化及密封	223	18.3 修补材料及设施	241
17.1 胶接构件组装及真空袋封装	223	18.3.1 修补材料	241
17.1.1 组装	223	18.3.1.1 修补胶粘剂	241
17.1.2 真空袋封装	223	18.3.1.2 蜂窝芯材	242
17.1.2.1 封装目的	223	18.3.1.3 其他材料	243
17.1.2.2 热电偶的固定	224	18.3.2 修补工具及设备	243
17.1.2.3 真空袋封装注意事项	225	18.4 修补工艺	244

18.4.1 修补方法	244	19.6.2 芯材下料及拼接	271
18.4.2 修补工艺典型操作	247	19.6.2.1 下料	271
第19章 铝蜂窝芯材制造	253	19.6.2.2 拼接	271
19.1 概述	253	19.6.3 芯材型面加工	273
19.1.1 发展与应用	253	19.6.3.1 型面加工	273
19.1.2 制造方案及特点	253	19.6.3.2 加工用刀具	274
19.1.2.1 铝箔厚度和芯材密度	254	19.6.3.3 夹芯固持方法	275
19.1.2.2 格子形状	254	19.7 芯材检验	275
19.1.2.3 铝箔处理方法	254	19.7.1 外观质量	275
19.1.2.4 制造方案比较	254	19.7.2 力学性能	276
19.2 成形法制造蜂窝芯材	255	第20章 蜂窝胶接结构制造	277
19.2.1 工艺流程	255	20.1 概述	277
19.2.2 制造方法	255	20.1.1 典型结构及分类	277
19.2.2.1 箔料分割	255	20.1.2 工艺流程	277
19.2.2.2 制通气孔及波形条成形	256	20.1.2.1 零件制造	277
19.2.2.3 除油	257	20.1.2.2 预装配	278
19.2.2.4 涂胶	258	20.1.2.3 胶接表面处理	279
19.2.2.5 制叠装定位孔	259	20.1.2.4 涂敷胶粘剂	279
19.2.2.6 叠装	259	20.1.2.5 装配、封装、固化及清理	279
19.2.2.7 固化	260	20.1.2.6 质量检验	279
19.3 拉伸法制造蜂窝芯材	260	20.2 舵面类蜂窝结构件胶接	280
19.3.1 工艺流程	260	20.2.1 结构特点	280
19.3.2 制造方法	260	20.2.2 芯材表面处理	281
19.3.2.1 铝箔除油	260	20.2.3 工艺特点	281
19.3.2.2 涂胶	260	20.2.4 实例	282
19.3.2.3 制通气孔	262	20.3 曲板、筒体类结构件胶接	283
19.3.2.4 切割下料	263	20.3.1 结构特点	283
19.3.2.5 叠装固化	263	20.3.2 工艺特点	285
19.3.2.6 叠层板下料	264	20.3.3 实例	286
19.3.2.7 拉伸成形	264	20.3.4 层压或挤压边缘蜂窝夹层板的 压制工艺	288
19.4 耐蚀蜂窝芯材的制造	264	20.4 无孔蜂窝结构件胶接	289
19.4.1 铝箔耐蚀处理	264	20.4.1 结构特点及芯格内压变化	289
19.4.2 普通芯材耐蚀处理	265	20.4.1.1 结构特点	289
19.4.2.1 芯材耐蚀处理	265	20.4.1.2 芯格内压变化	290
19.4.2.2 耐蚀芯材性能	266	20.4.2 工艺特点	290
19.4.3 两种耐蚀芯材制造方法比较	267	20.4.3 实例	290
19.5 耐久铝蜂窝芯材制造	267	20.4.4 常见胶接缺陷、产生原因及预防 措施	291
19.5.1 铝箔耐久处理	267	20.5 嵌入件及其固定法	292
19.5.2 耐久性与其力学性能	268	20.5.1 嵌入件的分类	292
19.6 机械加工	269	20.5.2 预埋件固定法	292
19.6.1 叠层板下料	270	20.5.3 内嵌件固定法	292
19.6.1.1 排样	270	20.5.4 实例	293
19.6.1.2 条料加工	270		
19.6.1.3 刀具	270		

第 21 章 钣金胶接结构制造	294
21.1 概述	294
21.1.1 钣金胶接结构应用	294
21.1.2 钣金胶接结构分类	295
21.2 板-桁条结构件胶接	297
21.2.1 结构工艺特点	297
21.2.2 工艺流程及要点	298
21.2.3 胶接缺陷及产生原因	300
21.3 翼肋、翼梁结构件胶接	301
21.3.1 结构工艺特点	301
21.3.2 工艺流程及要点	302
21.3.3 胶接缺陷及产生原因	302
21.4 波骨板结构件胶接	302
21.4.1 结构工艺特点	302
21.4.2 工艺流程及要点	303
21.4.3 胶接缺陷及产生原因	304
21.5 层板结构件胶接	304
21.5.1 结构工艺特点	304
21.5.2 工艺流程及要点	305
21.5.3 胶接缺陷及产生原因	305
第 22 章 胶焊结构制造	307
22.1 概述	307
22.1.1 胶焊结构应用	307
22.1.2 胶焊结构工艺方案	308
22.2 先焊后胶制造法	308
22.2.1 铝合金胶焊件工艺流程	308
22.2.2 点焊前准备	308
22.2.3 点焊	309
22.2.4 注胶	310
22.2.5 固化及检验	311
22.2.6 常见胶接缺陷及产生原因	311
22.3 先胶后焊制造法	312
22.3.1 工艺流程	312
22.3.2 胶粘剂	312
22.3.3 工艺要点	314
第 23 章 胶铆及胶螺结构制造	315
23.1 概述	315
23.2 胶铆工艺	315
23.2.1 结构形式	315
23.2.2 工艺流程	316
23.2.2.1 胶接固化后铆接	316
23.2.2.2 胶接涂胶及铆接后固化	317
23.2.3 工艺过程注意事项	317
23.3 胶螺工艺	318
23.3.1 结构形式	318
23.3.2 工艺流程	319
23.3.3 工艺过程注意事项	320
23.4 密封防护	320
第 24 章 特种胶接结构制造	321
24.1 铝合金胶接复合层板	321
24.1.1 特性及应用	321
24.1.1.1 特性	321
24.1.1.2 应用	322
24.1.2 技术要求	322
24.1.2.1 复合层板种类	322
24.1.2.2 技术要求 (国产铝复合层板)	323
24.1.3 胶接工艺	323
24.1.3.1 胶粘剂	323
24.1.3.2 工艺特点	324
24.1.4 铝复合层板性能	324
24.1.4.1 基本力学性能	324
24.1.4.2 剩余胶接强度	325
24.2 纤维增强铝合金胶接层板	325
24.2.1 特性、应用及发展动态	325
24.2.1.1 特性	326
24.2.1.2 应用	327
24.2.1.3 发展动态	327
24.2.2 品级、材料及性能	328
24.2.2.1 品级及组成	328
24.2.2.2 材料	329
24.2.2.3 性能	330
24.2.3 胶接工艺	331
24.2.3.1 工艺流程	331
24.2.3.2 制造工艺	332
24.3 前缘防冰结构胶接	332
24.3.1 结构形式	333
24.3.2 胶接工艺	333
24.3.3 故障及排除方法	334
24.4 芳纶纸蜂窝芯材结构胶接	335
24.4.1 芳纶纸蜂窝芯材性能	335
24.4.1.1 芳纶纸	335
24.4.1.2 国产芳纶纸蜂窝芯材性能	336
24.4.1.3 国外芳纶纸蜂窝芯材性能	337
24.4.2 胶接工艺	337
24.4.2.1 Nomex 芯材零件制造	338
24.4.2.2 胶接表面制备	339
24.4.2.3 填充块胶接	339

24.4.2.4 胶接固化	339	27.2.2 断裂力学试验方法	370
24.5 消音蜂窝壁板制造	339	27.2.2.1 静应力环境断裂试验	372
24.5.1 结构形式及应用	340	27.2.2.2 循环应力环境断裂试验	374
24.5.2 胶粘剂	340	27.3 蜂窝结构胶接接头耐应力环境试验	374
24.5.3 胶接工艺	341	27.3.1 蜂窝夹层试样试验	374
24.5.3.1 铝面板制孔	341	27.3.2 蜂窝结构元件试验	376
24.5.3.2 蜂窝芯材贴膜及破膜法	341	第28章 胶接质量无损检测	378
第25章 理化性能检测	343	28.1 任务	378
25.1 胶粘剂理化性能检测	343	28.2 缺陷类型及产生原因	379
25.1.1 目的和范围	343	28.2.1 金属钣金胶接结构制造中的主要胶接缺陷	379
25.1.2 检测方法	343	28.2.2 金属蜂窝胶接结构制造中的主要胶接缺陷	380
25.2 密封防护材料理化性能检测	346	28.2.3 金属胶接结构使用中出现的主要缺陷	381
25.2.1 目的和范围	346	28.3 无损检测方法	382
25.2.2 检测方法	346	28.3.1 胶接表面质量检查	382
25.2.3 密封腻子 and 液态密封垫理化性能检测标准	349	28.3.2 目视检验	383
第26章 胶接件力学性能检测	350	28.3.3 敲击法	384
26.1 胶接件力学性能检测通用要求	350	28.3.4 声振检测	385
26.2 板-板胶接性能检测	351	28.3.5 超声波检测	386
26.3 蜂窝结构胶接性能检测	351	28.3.6 射线检测	388
26.4 胶接结构件力学性能试验	351	28.3.7 激光全息照相	388
26.4.1 典型结构件力学性能试验	351	28.3.8 热学检测	389
26.4.1.1 全高度夹层结构典型件的悬臂梁弯曲试验	351	28.3.9 声发射与应力波检测	390
26.4.1.2 蜂窝夹层板的压缩稳定性试验	362	28.4 常用胶接无损检测方法的选择	391
26.4.1.3 蜂窝夹层结构的剪切稳定性试验	362	28.5 检测条件	392
26.4.1.4 蜂窝夹层结构的压-剪复合试验	363	28.5.1 人员要求	392
26.4.1.5 蜂窝夹层结构压-剪复合与侧压联合试验	363	28.5.2 设备要求	392
26.4.1.6 蜂窝夹层结构压-剪复合与冲击联合试验	363	28.5.3 标准试块	393
26.4.1.7 蜂窝夹层结构高-低-常温振动试验	363	28.5.4 验收标准	393
26.4.2 胶接部件试验	364	28.5.4.1 对分离缺陷的要求	393
第27章 胶接接头耐应力环境性能试验	365	28.5.4.2 对群集状缺陷的要求	394
27.1 耐应力环境性能	365	第29章 胶接质量控制	395
27.2 板-板胶接接头耐应力环境试验	365	29.1 意义及要求	395
27.2.1 传统试验方法	365	29.1.1 意义	395
27.2.1.1 静应力环境试验	365	29.1.1.1 确保安全性	395
27.2.1.2 循环应力环境试验	370	29.1.1.2 减小分散性	395
		29.1.2 胶接质量控制要求	396
		29.1.2.1 总要求	396
		29.1.2.2 胶接质量控制的基本要求	397
		29.2 胶接生产要素的质量控制	398
		29.2.1 厂房与环境的质量控制	398

29.2.2 胶接仪器、设备及装置的质量控制	398	29.2.5.4 胶接制件抽检检验	404
29.2.2.1 一般要求	398	29.2.6 从事结构胶接的人员素质要求	405
29.2.2.2 仪器、设备与装置的质量控制	398	29.2.6.1 结构胶接属特种工艺	405
29.2.2.3 工艺装备的质量控制	399	29.2.6.2 结构胶接特种工艺人员	405
29.2.3 胶接用材料的质量控制	400	29.2.6.3 重新考核	405
29.2.3.1 胶粘剂的质量控制	400	29.2.6.4 特殊训练人员	405
29.2.3.2 辅助材料的质量控制	401	29.3 技术文件及管理控制	406
29.2.4 胶接工艺过程的质量控制	401	29.3.1 技术文件控制	406
29.2.5 胶接制品的质量控制	403	29.3.2 管理控制	406
29.2.5.1 胶接随炉试件 (胶接控制试件)	403	29.3.2.1 工艺能力鉴定	406
29.2.5.2 胶接制件质量检验	403	29.3.2.2 不合格品控制	406
29.2.5.3 胶接制件首件鉴定	403	29.3.2.3 胶接制件质量控制履历本	406
		29.3.2.4 质量保证系统	407
		第 30 章 胶接术语	408
		参考文献	416

第1章 胶接概论

1.1 概 述

利用胶粘剂与被粘金属表面间的粘附力,使金属被粘物连接成为一个整体,并具有一定力学性能的方法,称为金属胶接。主要利用胶接方法制成的金属飞机结构,称为飞机金属胶接结构。

近20年来,国内外胶接技术已取得长足的进步和发展。时至今日,所有先进的飞机无一不采用了胶接结构。机械连接(铆接、螺接)、焊接及胶接已经并列成为现代飞机制造的三大连接技术。

本手册内容限于叙述飞机金属结构件的胶接制造技术,不涉及非金属胶接,但少量涉及金属蒙皮与非金属零件(如芳纶纸蜂窝芯材)胶接的内容。

1.1.1 金属胶接技术优缺点

金属胶接与机械连接和焊接连接相比具有下列优缺点:

1 优点

(1) 胶接可连接多种被粘物 包括不同材料的胶接、不同厚度被粘物的胶接、薄壁零件胶接及多层材料胶接等。

(2) 胶接接头不需制连接孔 不存在孔边应力集中,可提高疲劳强度;还大幅度减少了紧固件数量,减轻结构重量。试验表明,铝合金薄板胶接结构的疲劳寿命可比点焊结构的高20倍,比铆接结构的高15倍。耐声疲劳性能也优于铆接结构和点焊结构。

(3) 胶接接头是面际连接 胶层连续,加强了对被粘物的支持,可提高结构抗压强度,比强度和比刚度高。胶接加劲板可比同类铆接壁板提高抗压强度约10%。胶层还具有优异的止裂性能,能有效地阻止或延缓被粘物裂纹扩展。

(4) 胶接连接表面光滑 没有类似铆钉缝或焊缝的突起,外形美观,对高速飞机尤为有利。

(5) 胶接连接具有优良的密封性能 适用于水密、油密及气密结构。金属被粘物之间的胶层还具有较好的绝缘和抗震性能。

(6) 胶接可与其他连接方法联合应用 组成胶铆、胶螺或胶焊结构,相互取长补短,有利于提高结构性能。

(7) 胶接工艺没有复杂操作 不要求高超技艺,对操作工人培训容易,胶接结构制造工时成本较低。

2 缺点

(1) 胶接接头抗剥离强度很低,抗不均匀扯离能力弱。

(2) 结构胶粘剂的工作温度一般不高于260℃,目前国内一般应用的尚在200℃以下。

(3) 胶接质量影响因素多,强度离散性大,质量控制要求严格。

(4) 胶接质量无损检测手段还需进一步提高完善。

1.1.2 飞机金属胶接结构件分类

飞机金属胶接结构件分类见图 1.1。

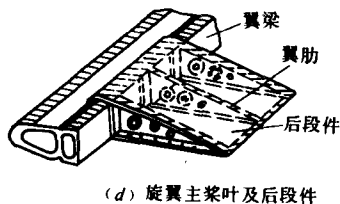
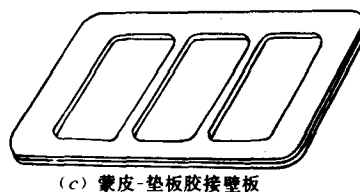
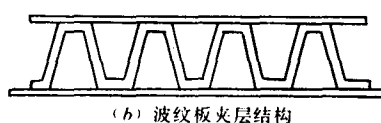
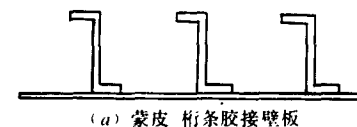
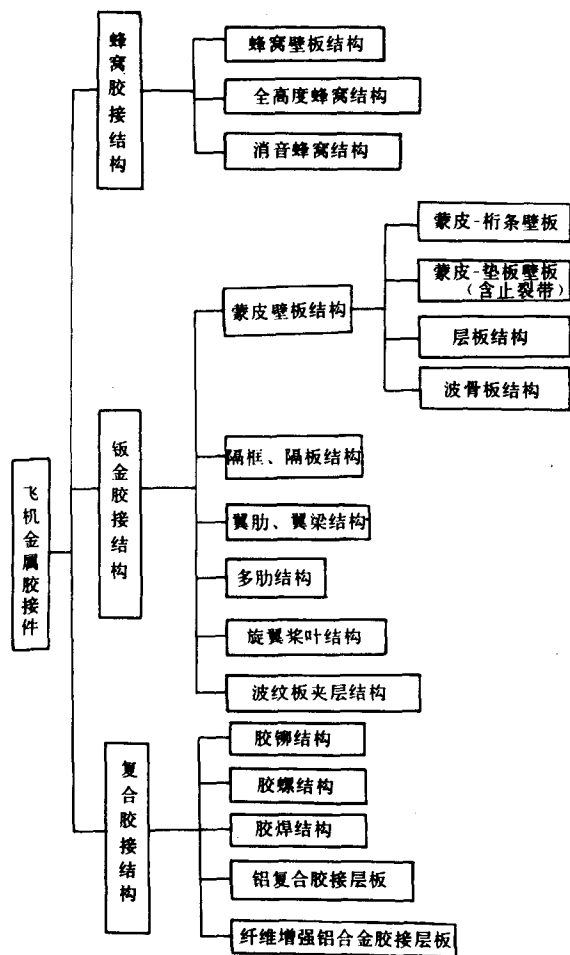


图 1.1 飞机金属胶接结构件分类
飞机钣金胶接结构示意图见图 1.2。
飞机蜂窝胶接结构示意图见图 1.3。

图 1.2 飞机钣金胶接结构示意图

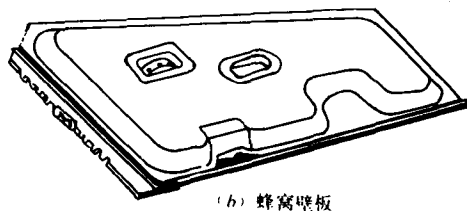
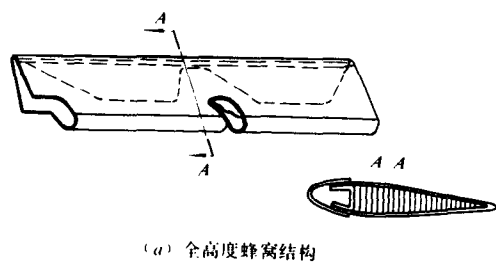


图 1.3 飞机蜂窝胶接结构示意图

1.1.3 飞机金属胶接结构应用概况

1 国外应用情况

(1) 40年代起开始在飞机上应用胶接结构,至今采用金属胶接结构的机种已达百种以上。金属胶接结构已成为飞机机体的重要结构形式之一。

(2) 金属胶接结构技术不断提高,在可靠性及耐久性方面已取得重要突破。耐久胶接技术的发展促进了耐久胶接结构在飞机主承力结构上的应用。

(3) 美国采用的金属胶接结构以蜂窝结构为主;西欧各国则以应用板与板胶接的钣金胶接结构为主。前苏联的胶接技术比西方尚逊一筹,但也有一定水平,金属胶接结构也已在飞机上广泛应用。

(4) 国外应用金属胶接结构的代表性机种及其主要应用部位,见表1.1。

表1.1 国外飞机金属胶接结构应用

机 型	应 用 部 位	用 量
鸽子号	机身、机尾翼钣金胶接壁板	全机~80%表面积
B-58	机身、机翼、操纵面、整流罩等	全机~55%表面积,~400余件
F-27	机翼壁板、蜂窝壁板等	全机~75%表面积
F-28	机翼壁板、机身壁板等	全机~67%表面积
三叉戟	机尾翼壁板、机身壁板、蜂窝件等	200余件,~400m ²
Boeing-737	机身、机尾翼壁板、蜂窝件等	全机~80%表面积,~300余件
F-111	机身壁板、机尾翼壁板操纵面等	~560m ²
C-141	机身、机尾翼壁板及蜂窝件等	~960m ²
C-5A	机身、机尾翼壁板及蜂窝件等	~1200m ²
Boeing-747	钣金胶接及蜂窝胶接等	~290m ²
ИЛ-86	舷窗壁板、机身壁板、操纵面等	
BAe-146	机尾翼壁板、机身壁板等	

2 国内应用情况

(1) 50年代末开始研制飞机金属胶接结构。至今所有新机种均已采用胶接结构,但用量不大。

(2) 胶接技术水平不断改进提高。无孔蜂窝结构已普遍应用。耐久胶接结构已进入研制应用阶段。

(3) 钣金胶接结构及蜂窝胶接结构并重。近年来正在开拓发展铝复合胶接层板及纤维增强铝合金胶接层板结构技术。

(4) 国内应用金属胶接结构的代表机种及其主要应用部位,见表1.2。

表1.2 国内飞机金属胶接结构应用

机 型	应 用 部 位
强击机	蜂窝结构方向舵及框板
直升机	蜂窝后段件及钣金胶接桨叶
小型歼击机	蜂窝结构操纵面及机身壁板等
大型客机	机尾翼后缘壁板、蜂窝结构操纵面等
小型支线客机	钣金胶接机尾翼壁板及蜂窝结构操纵面
歼击机	蜂窝结构操纵面及钣金胶接油箱壁板
歼击机	蜂窝结构吹气襟翼
水上飞机	机身船底钣金胶接壁板
直升机	地板、尾梁、蜂窝壁板等
歼击机	机尾翼胶接壁板及蜂窝结构操纵面
直升机	主、尾桨叶、地板、整流罩、护板等,~90m ²

1.2 飞机金属胶接工艺特点及使命

1.2.1 金属胶接工艺过程

金属胶接的典型工序如下:

- 1 预装配 对被粘零件的胶接部位进行组合修配,保证胶接表面之间贴合良好,能形成一定厚度的胶层。
- 2 胶接表面处理 对被粘物胶接表面作专门处理,以保证获得良好的胶接性能。
- 3 配胶 多组分胶粘剂在使用前需要专门配制,或是调整胶液粘度,使之便于施工并控制胶量。
- 4 胶粘剂涂布 对胶接表面涂布胶粘剂,包括喷(涂)底胶及敷贴胶膜。
- 5 装配 胶接零件按要求装配组合,并作好固化前封装准备。
- 6 固化 树脂胶粘剂需要在加热加压条件下完成固化过程,形成牢固的胶接接头连接。
- 7 检验 对胶接制件进行全面质量检验,包括外形及胶接质量检验。有目视检验、力学性能测试、无损检测及特种要求试验等。
- 8 修补 对胶接制件在生产或使用中暴露的缺陷,有的允许经修补合格后使用。

1.2.2 飞机金属胶接工艺特点

1 金属胶接工艺特点

(1) 胶接性能优劣根本上取决于胶接表面的质量。表面污染将严重降低胶接质量,在整个胶接过程中必须始终保证胶接表面具有优异的胶接特性。保证胶接表面处理质量是金属胶接工艺的一个重要命题,并需要较大的投资。

(2) 金属零件胶接必须保证严格的配合间隙。所用胶接零件应具有较高的制造精度(尤其应控制好钣金零件的精度),并必须有专用的胶接夹具或固化模具来保证其装配定位精度。此外,还增设了预装配工序。

(3) 金属胶接的工序多,涉及学科多。包括高分子材料、表面物理化学、机械、电子、声学、光学及热力学等各方面。胶粘剂实现交联固化的过程,同时也就是胶接接头完成连接和制件形状定型的过程。影响金属胶接质量的因素多,必须严格地进行胶接质量控制。

(4) 胶接工艺可简可繁,随所用胶粘剂及被粘材料的品种和胶接制件的质量要求而异。胶接时必须根据具体对象选用合理的胶接工艺及设备,尽量降低成本。

2 飞机金属胶接工艺特点

飞机金属胶接结构的综合性能要求高、结构受力复杂、使用环境条件苛刻、制件要求可靠性高,而且外形复杂。为此,除了上述金属胶接的共性特点外,飞机金属胶接工艺更具有以下附加特点:

- (1) 飞机金属胶接的结构形式多,不同形式的胶接结构大多需要采用不同的胶接工艺。
- (2) 飞机金属胶接一般均采用综合性能优异的结构胶粘剂,对胶接工艺要求高。
- (3) 飞机金属胶接结构应该是耐久胶接结构,必须采用成套的先进胶接工艺技术。
- (4) 飞机金属胶接结构的制造还应满足飞机气动外形及其互换协调的要求。
- (5) 飞机金属胶接结构必须在严密的质量保证体系控制下才能组织生产。军机的胶接制